

WAVEGUIDE TYPE OPTICAL MODULATOR AND OPTICAL MODULATING METHOD

Patent Number: JP11249094
Publication date: 1999-09-17
Inventor(s): IZUTSU MASAYUKI; SHIMOZU SHINICHI; OIKAWA SATORU
Applicant(s):: COMMUNICATION RESEARCH LABORATORY; IZUTSU MASAYUKI; SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD
Requested Patent: ☐ JP11249094
Application Number: JP19980051976 19980304
Priority Number(s):
IPC Classification: G02F1/035
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To secure the sufficient frequency interval of optical carriers even when a high frequency signal such as a millimeter wave band signal is transmitted and to obtain satisfactory transmission characteristics without generating a noise signal such as a beat signal even when wavelength dispersing or chirping occurs in a transmission line.

SOLUTION: This waveguide type optical modulator is provided with an optical carrier generating part 111 for facilitating the modulation of an input optical signal by converting this input optical signal to two optical carriers having respectively different frequencies lower than that of the optical signal and a modulating signal impressing part 112 for impressing a modulating signal to the optical carriers. In this case, an optical waveguide 106 for introducing reference light, with which one of the optical carriers disappears because of a difference, into the modulating signal impressing part 112 is provided separately from an optical waveguide for transmitting the optical signal. Thus, only the other optical carrier is stayed behind and the modulating signal is impressed only to this optical carrier.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-249094

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/035

識別記号

F I

G 0 2 F 1/035

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-51976

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月4日

(71) 出願人 391027413

郵政省通信総合研究所長

東京都小金井市箕井北町4丁目2番1号

(71) 出願人 598029092

井筒 雅之

東京都小金井市緑町2-4-12-612

(71) 出願人 000183266

住友大阪セメント株式会社

東京都千代田区神田美土代町1番地

(72) 発明者 井筒 雅之

東京都小金井市箕井北町4丁目2番1号

郵政省通信総合研究所内

(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外 8 名)

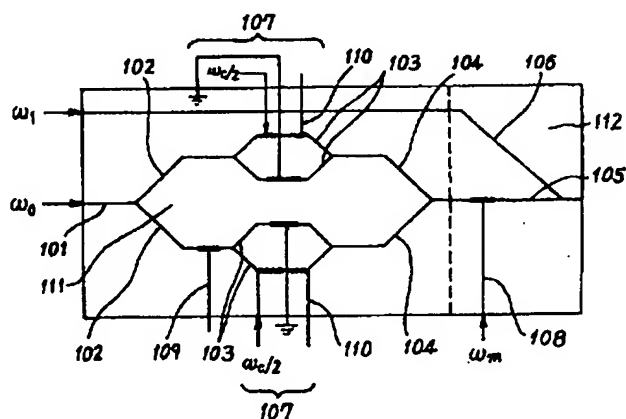
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 導波路型光変調器及び光変調方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、光キャリアの周波数間隔を十分に取ることができ、伝送路中の波長分散及びチャープングなどが生じた場合であっても、ビート信号などの雑音信号を発生させることなく、良好な伝送特性を得ることができる導波路型光変調器を提供するものである。

【解決手段】 入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換して、光信号の変調を容易にするための光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器において、差分により前記光キャリアの一方を消失させるための参照光を前記変調信号印加部に導入するための光導波路を、光信号を伝送するための光導波路に対し別途設ける。これにより、他方の光キャリアのみを残存させ、この光キャリアにのみ変調信号を印加する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる 2 つの光キャリアに変換して、光信号の変調を容易にするための光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器において、差分により前記光キャリアの一方を消失させるための参照光を前記変調信号印加部に導入するための光導波路を、光信号を伝送するための光導波路に対し別途設けたことを特徴する導波路型光変調器。

【請求項 2】 前記光キャリア発生部が、1 本の入力光導波路と、この入力光導波路から分岐した 2 本の光導波路からなる 1 組の $\pi/2$ 位相シフト光導波路と、この $\pi/2$ 位相シフト光導波路から分岐した 2 本の光導波路からなる 2 組の π 位相シフト光導波路と、前記 π 位相シフト光導波路を構成する 2 本の光導波路が結合してなる 2 本の光キャリア発生部出力光導波路とを具え、かつ前記 2 組の π 位相シフト光導波路の各々の組について光キャリア発生用電極を設けることを特徴とする請求項 1 に記載の導波路型光変調器。

【請求項 3】 前記変調信号印加部が、前記光キャリア発生部で発生した 2 つの光キャリアに対して、位相変調信号を印加するようにしたことを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の導波路型光変調器。

【請求項 4】 前記変調信号印加部が、前記光キャリア発生部で発生した 2 つの光キャリアに対して、強度変調信号を印加するようにしたことを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の導波路型光変調器。

【請求項 5】 光信号の変調を容易にすべく導波路型光変調器の光キャリア発生部において、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、各々の周波数が異なる 2 つの光キャリアに変換し、導波路型光変調器の変調信号印加部において前記 2 つの光キャリアに変調信号を印加する光変調方法において、光信号を伝送する光導波路に対して別途設けられた光導波路により前記変調信号印加部に参照光を導入して、前記 2 つの光キャリアとの差分を取ることで一方の光キャリアを消失させることを特徴とする光変調方法。

【請求項 6】 前記入力光信号の 2 つの光キャリアへの変換が、2 つに分岐した $\pi/2$ 位相シフト光導波路により入力光信号を 2 分割し、かつこの分割した各々の入力光信号を π 位相シフト光導波路中を伝搬させるとともに、 π 位相シフト光導波路伝搬途中において変調信号を印加することにより行われることを特徴とする請求項 5 に記載の光変調方法。

【請求項 7】 前記導波路型光変調器の変調信号印加部において印加する変調信号が、位相変調信号であることを特徴とする請求項 5 又は 6 のいずれかに記載の光変調方法。

【請求項 8】 前記導波路型光変調器の変調信号印加部

において印加する変調信号が、強度変調信号であることを特徴とする請求項 5 又は 6 のいずれかに記載の光変調方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって各々の周波数が異なる 2 つの光キャリアに変換する光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器、及びこのような構成の導波路型光変調器を用いた光変調方法に関し、さらに詳しくは、ミリ波帯信号などの高周波信号を伝送するサブキャリア光変調に対して好適に使用することのできる導波路型光変調器及びこのような構成の導波路型光変調器を用いた光変調方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、光通信システムなどの光伝送路に使用する導波路型光変調器は、光信号の変調を容易にすべく、主に入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる 2 つの光キャリアに変換する光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部との 2 つの構成要素のみから形成されていた。このため、このような導波路型光変調器を、ミリ波帯信号などの高周波信号を伝送するサブキャリア光変調用の導波路型光変調器として用いた場合には、以下に示すような問題が生じていた。

【0003】導波路型光変調器へ入射するレーザ光の周波数を図 19 に示すように ω_0 とすると、光キャリア発生部を通過した後に出力される光キャリアは、図 20 に示すように、 ω_1 又は ω_2 の周波数を有する 2 つの光キャリアの合成光となる。さらに、この合成光が変調信号印加部を通過すると、 ω_1 及び ω_2 の各周波数のそれぞれに変調信号 ω_m が重畳される。この結果、図 21 に見られるように、得られる光信号は、各周波数帯域の上側波帯及び下側波帯にサイドバンドを有する周波数 ω_1 又は ω_2 の 2 つの光信号の合成光となる。

【0004】しかしながら、上述したようなミリ波帯信号などの高周波信号を伝送すると、数十 GHz の従来の変調スピードでは、 ω_1 と ω_2 との周波数間隔を十分に取ることができなかった。また、変調信号を印加すると上述のように ω_1 及び ω_2 の各周波数帯域にサイドバンドが生じるため、 ω_1 及び ω_2 の各周波数帯は極めて接近して存在するようになる。このような場合、伝送路中の波長分散及びチャープングなどが生じると、 ω_1 及び ω_2 の各周波数における光の進行速度にずれが生じ、この結果、これらの光の周波数も ω_1 及び ω_2 からずれて干渉するようになり、ビート信号などの雑音信号が発生して伝送特性の劣化を生じていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記問題点

に鑑み、光伝送路中にミリ波帯信号などの高周波信号を伝送する場合において、上記波長分散などが生じた場合においても、変調した2つの周波数帯域の光の干渉を防止し、ビート信号などの雑音信号の発生を防止することが可能な導波路型光変調器及び光変調方法を提供するものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記問題点を解決すべく鋭意検討した結果、導波路型光変調器の変調信号印加部に、参照光を導入するための光導波路を光信号を伝送するための光導波路と別途に設け、前記変調信号印加部に参照光を導入して、この参照光と光キャリア発生部で得られた2つの光キャリアとの差分を取り、一方の光キャリアを消失せしめることにより上記問題点を解決できることを見だし、本発明をするに至った。

【0007】すなわち、本発明は、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換して、光信号の変調を容易にするための光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器において、差分により前記光キャリアの一方を消失させるための参照光を前記変調信号印加部に導入するための光導波路を、光信号を伝送するための光導波路に対し別途設けたことを特徴とする導波路型光変調器である。

【0008】また、光信号の変調を容易にすべく導波路型光変調器の光キャリア発生部において、入力光信号を入力光信号より低い周波数であって各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換し、導波路型光変調器の変調信号印加部において前記2つの光キャリアに変調信号を印加する光変調方法において、光信号を伝送する光導波路に対して別途設けられた光導波路により前記変調信号印加部に参照光を導入して、前記2つの光キャリアとの差分を取ることで一方の光キャリアを消失させることを特徴とする光変調方法である。

【0009】前記導波路型光変調器の光キャリア発生部は、高周波数の光信号を効率的に変換することが可能であること、及び変換の際に高次の光キャリアの発生を防止することができることの観点より、1本の入力光導波路と、この入力光導波路から分岐した2本の光導波路からなる1組の $\pi/2$ 位相シフト光導波路と、この $\pi/2$ 位相シフト光導波路から分岐した2本の光導波路からなる2組の π 位相シフト光導波路と、前記 π 位相シフト光導波路を構成する2本の光導波路が結合してなる2本の光キャリア発生部出力光導波路とを具え、かつ前記2組の π 位相シフト光導波路の各々の組について光キャリア発生用電極を設けること好ましい。

【0010】また、前記光変調方法における入力光信号の2つの光キャリアへの変換は、上述の導波路型光変調

器の光キャリア発生部の場合と同様の観点から、2つに分岐した $\pi/2$ 位相シフト光導波路により入力光信号を2分割し、かつこの分割した各々の入力光信号を π 位相シフト光導波路中を伝搬させるとともに、 π 位相シフト光導波路伝搬途中において変調信号を印加することにより行われることが好ましい。さらに、慣用のFM変調及びAM変調の手法を用いることができることの観点より、前記変調信号印加部において印加する変調信号は、位相変調信号及び強度変調信号であることが好ましい。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明は、上述したように、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換して、光信号の変調を容易にするための光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器において、差分により前記光キャリアの一方を消失させるための参照光を前記変調信号印加部に導入するための光導波路を、光信号を伝送するための光導波路に対し別途設けたことを特徴とする導波路型光変調器である。

【0012】さらには、光信号の変調を容易にすべく導波路型光変調器の光キャリア発生部において、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換し、導波路型光変調器の変調信号印加部において前記2つの光キャリアに変調信号を印加する光変調方法において、光信号を伝送する光導波路に対して別途設けられた光導波路により前記変調信号印加部に参照光を導入して、前記2つの光キャリアとの差分を取ることで一方の光キャリアを消失させることを特徴とする光変調方法である。以下に本発明を実施例に即して詳細に説明する。

【0013】

【実施例】実施例1

図1は、本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合の一実施例を示す概略図である。

【0014】本実施例の導波路型光変調器は以下のようにして製造する。基板には2板ニオブ酸リチウム (LiNbO_3 : 以下、LNと略す場合がある) を使用し、この基板に対してフォトリソ及びエッチングの技術を用いて導波路パターンを形成した後、チタン (Ti) を真空蒸着法により約800Åに堆積させ、1000℃で20時間加熱することによりチタンをLN基板中に拡散させ、幅10 μm の光信号伝送用の光導波路及び参照光導入用の光導波路を形成した。

【0015】尚、使用する基板は、電気光学効果を有するものであれば上記ニオブ酸リチウムに限定されるものではなく、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) 及びジルコン酸チタン酸鉛ランタン (PLZT) などを使用することができる。また、光導波路を形成するチタンの基板上への堆積方法についても上記真空蒸着法の外に、スパッタ法、

イオンプレーティング法、及びCVD法などを使用することができる。さらに、本実施例では光導波路をチタンから形成したが、この他、ニッケル(Ni)、銅(Cu)、及びクロム(Cr)などを使用することができる。

【0016】次に、前記光導波路が形成された基板上に下地層としてニクロム層を形成し、真空蒸着法及び電界メッキ法により金(Au)を約 $20\mu\text{m}$ 堆積させることにより、変調用電極及び信号印加用電極を形成する。電極材料としては、上記の金の外、銀(Ag)及び銅などを使用することもできる。

【0017】このようにして得られた光導波路デバイスをステンレス製のケースに固定し、入出射口に光ファイバーを接続するとともに、各電極を電気コネクタに配線することにより最終的な導波路型光変調器を得ることができる。

【0018】次に、図1に示すように本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器として用いた場合の光信号の伝送過程、いわゆるサブキャリア方式の光伝送について説明する。

【0019】図1に示す導波路型光変調器への入力光信号であるレーザ光の周波数を ω_0 とすると、この光は入力光導波路101中を伝搬し、分岐点に到達して2本の $\pi/2$ 位相シフト光導波路102へ分岐し、さらに、各々 $\pi/2$ 位相シフト光導波路102中を伝搬する。再度分岐点に到達して各々2本の π 位相シフト光導波路103に分岐し、それぞれ π 位相シフト光導波路103中を伝搬する。

【0020】この伝搬過程において、分岐した π 位相シフト光導波路103の一方に、キャリア発生用電極107からそれぞれ周波数 $\omega_c/2$ の変調信号が印加され、入力光信号は光キャリアに変換される。各々の π 位相シフト光導波路103中を伝搬してきた光は、その後合流して光キャリア発生部出力光導波路104中を伝搬し、さらに合流することにより出力光導波路105中を伝搬する。

【0021】出力光導波路105中を伝搬することにより、光は光キャリア発生部から変調信号印加部へと移行し、変調信号印加用電極108から周波数 ω_m の変調信号が印加され、光キャリアに変調信号が重畳される。

【0022】一方、参照光導入用光導波路106を通して外部より参照光 ω_1 を変調信号印加部へ導入する。参照光 ω_1 は光キャリアとの差分を取ることにより一方の光キャリア ω_1 を消失させる。また、光キャリアを消失させるためには、参照光の周波数と消失させる光キャリアの周波数が同じであることが必要である。

【0023】また、本発明における π 位相シフト光導波路及び $\pi/2$ 位相シフト光導波路とは、1組の分岐した2本の π 位相シフト光導波路又は $\pi/2$ 位相シフト光導波路中を光信号が分岐して伝搬する場合に、これらの分岐した光信号の位相が互いに π 又は $\pi/2$ ずれて出力さ

れる光導波路を総称したものである。

【0024】分岐した光信号の位相を π 又は $\pi/2$ ずらすことができれば、位相シフトさせるための手段は限定されない。本実施例においては、図1に示すように位相シフト用の電極である $\pi/2$ 位相シフト光導波路109、及び π 位相シフト光導波路110を設置することにより位相シフトを実施した。上述した光信号の伝送過程において、入力された光信号は図2～5に示すように変化する。

10 【0025】図2に示すようなスペクトルを有する周波数 ω_0 の入力光は、上述したように分岐した π 位相シフト光導波路103において、周波数 $\omega_c/2$ の変調信号が印加されることにより、入力光のよりも低い周波数であって各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換される。この2つの光キャリアは、それぞれ π 位相シフト光導波路103を伝搬した後に合流して光キャリア発生部出力光導波路104を伝搬し、さらに合流して出力光導波路105中を伝搬する。

20 【0026】出力光導波路105中の変調信号印加用電極108から変調信号が印加される前の光キャリアは、図3に示すように ω_1 及び ω_2 の2つの異なる周波数の光スペクトルを有する。

30 【0027】尚、変調信号が印加されると高次の光キャリアが多数発生するが、分岐した $\pi/2$ 位相シフト光導波路102、及び π 位相シフト光導波路103中を伝搬することにより位相が互いに $\pi/2$ 及び π ずれるため、これらの高次の光キャリアは、分岐した $\pi/2$ 位相シフト光導波路102、及び π 位相シフト光導波路103が結合する部分において互いに干渉することにより消失する。

【0028】図3に示す2つの光キャリアに、変調信号印加用電極108から変調信号 ω_m が印加されると、光キャリアは図4に示すように変調信号 ω_m が重畳されたスペクトルを示す。

【0029】次に、参照光導入用光導波路106から、消失させるべく光キャリア ω_1 の周波数と同じ周波数 ω_1 を有する参照光 ω_1 を導入して、この参照光 ω_1 と光キャリアとの差分を取ると、光キャリアは図5に示すようなスペクトルを示す。図5に示される光キャリアが最終的な光信号として出力される。例えば、入力光 ω_0 として周波数 194THz の光信号を使用し、光キャリア発生用の変調信号 $\omega_c/2$ として、周波数 100GHz のミリ波を使用した場合、周波数 193.9THz の光キャリア ω_1 と、周波数 194.1THz の光キャリア ω_2 との2つの得られる。

50 【0030】そして、変調信号 ω_m として周波数 1GHz のマイクロ波を使用すると、光キャリア ω_1 及び ω_2 の両側に、変調信号 ω_m の周波数 1GHz に相当する間隔でサイドバンドを有するスペクトルが得られる。光キャリア ω_1 と同じ周波数(193.9THz)の参照光

を導入して、光キャリア ω_1 との差分を取ると、最終的には周波数 ω_c に相当する200GHzの光キャリアを得ることができる。

【0031】以上から明らかなように、本実施例においては、2つの光キャリアの一方を外部から導入した参照光との差分を取ることにより消失させるようにしたので、図5に示されるように、2つの光キャリアが周波数帯域を接近させて存在するということがない。したがって、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、各周波数帯域の光キャリア間隔を十分に広くすることができるため、伝送路中の波長分散及びチャージングなどに起因した光の干渉を防止することができ、この結果、良好な伝送特性を得ることができる。

【0032】実施例2

図6は、本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合の他の実施例を示す概略図である。本実施例の導波路型光変調器は、基本的には上記実施例1と同様にして製造し、各光導波路及び電極構造の形態及び大きさは同一とした。但し、本実施例では図6から明らかなように、変調信号印加部において強度変調信号を印加すべく、出力光導波路105に対して、さらに追加のマッハツェンダー型光導波路213に分岐させる構造を取っている。

【0033】図6における光信号の伝送過程、いわゆるサブキャリア方式の光伝送についても、追加のマッハツェンダー型光導波路213に至るまでは実施例1と同じである。しかしながら、追加のマッハツェンダー型光導波路213に至った後の伝送過程は、以下に示すように実施例1と異なる。

【0034】出力光導波路205を伝搬してきた光キャリアは、分岐点に到達して追加のマッハツェンダー型光導波路213中を伝搬する。この伝搬過程において、追加のマッハツェンダー型光導波路213の一方に信号印加用電極208から変調信号 ω_m が重畳される。その後、追加のマッハツェンダー型光導波路213を伝搬した光は出力光導波路205に合流する。合流した光は、最終的に光信号として取り出される。

【0035】本実施例では、上記実施例1の導波路型光変調器に対し、追加のマッハツェンダー型光導波路213を設け、さらに追加のマッハツェンダー型光導波路213の一方に変調信号を印加することにより、追加のマッハツェンダー型光導波路213全体として見た場合に強度変調信号が印加されるようにしたものである。

【0036】尚、実施例1の場合と同様に、変調信号が印加されると高次の光キャリアが多数発生するが、 $\pi/2$ 位相シフト光導波路202及び π 位相シフト光導波路203を伝搬することにより、高次の光キャリアは互いにキャンセルして消失する。

【0037】本実施例における上記の光信号の伝送過程における入力された光信号の変化は実施例1の図2～5

と同様になる。すなわち、図6から明らかなように、出力光導波路205に対して追加のマッハツェンダー型光導波路213を設け、追加のマッハツェンダー型光導波路213の一方を通る光キャリアにのみ変調信号 ω_m を印加し、追加のマッハツェンダー型光導波路213全体として見た場合、 ω_1 及び ω_2 の光キャリアに周波数 ω_m の強度変調信号が重畳されるようにしたものである。

【0038】しかしながら、この強度変調された光信号を光周波数でスペクトル分解すると、実施例1と同様に、周波数 ω_1 及び ω_2 の上側波帯及び下側波帯に周波数間隔 ω_c のサイドバンドを伴った変調信号が得られ、結果として、出力光導波路205において得られる光信号は、参照光との差分により図5に示すようにサイドバンドを有する周波数 ω_c の光信号となる。

【0039】したがって、実施例1同様に、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、各周波数帯域のキャリア間隔を十分に広くすることができる。このため、光信号の干渉を防止することができ、ビート信号などの雑音信号の発生を防止して良好な伝送特性を得ることができる。

【0040】さらに、実施例1で示される位相変調信号のみでなく、このような強度変調信号を印加しても、図5に示すように同一の光信号を得ることができるため、変調信号としてFM変調信号のみならずAM変調信号をも使用することができる。したがって、本発明は、本発明の導波路型光変調器を使用するユーザー側の自由度が増すという利点をも有している。

【0041】尚、本実施例では図6から明らかなように、変調信号印加部において追加のマッハツェンダー型光導波路213を設けることにより強度変調信号を印加しているが、このように追加の出力光導波路を設けることなく、図1と同じ態様において外部から直接強度変調信号を導入することもできる。

【0042】実施例3

図7は、本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合のさらなる他の実施例を示す概略図である。本実施例の導波路型光変調器は、基本的には実施例1と同様にして製造し、各光導波路及び電極構造の形態及び大きさは同一とした。但し、図7から明らかなように、本実施例では実施例1と異なり、変調信号印加用電極308から変調信号を印加する以前に参照光を導入するようにした。

【0043】図7における光信号の伝送過程、いわゆるサブキャリア方式の光伝送については実施例1と基本的には同一であるが、周波数 ω_1 の一方の光キャリアを参照光との差分を取ることにより消失させた後、変調信号印加用電極308変調信号を印加している点で異なる。したがって、本実施例の光信号の伝送過程における光信号の変化は以下に示すようになる。

【0044】入力光信号の周波数を図8に示すように実

施例 1 と同じ ω_0 とすると、光キャリア発生部 3 1 1 を伝搬して、参照光導入用光導波路 3 0 6 が出力光導波路 3 0 5 に結合している部分に到達した直後は、光キャリアは実施例 1 の場合と同様に図 9 に示すように周波数 ω_1 及び ω_2 の 2 つの光スペクトルから構成される。

【0045】参照光導入用光導波路 3 0 6 と出力光導波路 3 0 5 とが結合している部分において、光キャリアと参照光との差分が取られることにより光キャリア ω_1 が消失し、変調信号印加用電極 3 0 8 に至る以前の光キャリアのスペクトルは図 1 0 に示すようになる。

【0046】次に、図 1 0 に示すような光キャリアに対して、変調信号印加用電極 3 0 8 から変調信号が印加され、残存する一方の光キャリアにのみ変調信号が重畳される。これにより最終的な出力信号は、図 1 1 に示すようなスペクトルを呈する。

【0047】以上から明らかなように、本実施例においても、実施例 1 と同様に 2 つの光キャリアが周波数帯域を接近させて存在するということがない。したがって、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、各周波数帯域の光キャリア間隔を十分に広くすることができ、伝送路中の波長分散及びチャーピングなどに起因した光の干渉を防止することができ、この結果、良好な伝送特性を得ることができる。

【0048】また、実施例 1 ~ 3 から明らかなように、変調信号印加後に参照光を導入するのみならず、変調信号印加前に参照光を導入しても、光キャリアの一方を完全に消失させることができる。但し、光キャリア発生部に参照光を導入すると高次の光キャリアが残存し、入力信号を 2 つの光キャリアに変換することが困難になるため、参照光は変調信号印加部に導入することが必要である。

【0049】以上、実施例 1 ~ 実施例 3 においては、本発明の導波路型光変調器に対し入力光として単一光を使用した場合について説明したが、入力光として波長の異なる複数の光を使用した、いわゆる波長多重方式においても、本発明の導波路型光変調器を使用することができる。以下、実施例 4 及び 5 において本発明の導波路型光変調器を波長多重方式に使用した場合の例を示す。

【0050】実施例 4

図 1 2 は、本発明の導波路型光変調器を波長多重方式のサブキャリア光変調器に使用した場合の一実施例を示す概略図である。本実施例では、実施例 1 と同じ導波路型光変調器を 2 台並列状態において使用し、入力光は周波数 ω_{10} 及び ω_{20} レーザ光を使用した。各導波路型光変調器内の光信号の伝送過程は、実施例 1 において説明した伝送過程と同じである。

【0051】また、この伝送過程における入力光の変化も基本的には実施例 1 の場合と同じであり、図 1 3 に示すような周波数 ω_{10} 及び ω_{20} の入力光は、光キャリア発生部 4 1 1 を通過して変調信号印加用電極 4 0 8 に至る

前においては、図 1 4 に示すように、それぞれキャリア発生用変調電極 4 0 7 から印加される変調信号の周波数に応じて、キャリア間隔 ω_c 及び ω_c' を有する周波数 ω_{11} 及び ω_{12} 、並びに ω_{21} 及び ω_{22} の 2 つの光キャリアに変換される。ここで、 ω_c' 及び ω_c の値は、例えば、チャンネル同士が干渉しない最小の帯域幅が 1 GHz の場合、 $(\omega_c' - \omega_c)$ の大きさが 1 GHz 以上となるように選択する。続いて、これら 2 つの光キャリアに変調信号印加用電極 4 0 8 より、変調信号が印加されると光キャリアは図 1 5 に示すようなスペクトルとなる。

【0052】次に、参照光導入用光導波路 4 0 6 より参照光を導入して光キャリア ω_{11} 及び ω_{12} を消失させることにより、各導波路型光変調器の出力として得られる光信号は図 1 6 に示されるようになる。

【0053】図 1 2 の上側の導波路型光変調器をチャンネル 1、下側の導波路型光変調器をチャンネル 2 とすると、これらを合成して最終的に得られる光信号は、図 1 7 に示すような状態を呈する。したがって、実施例 1 と同様に、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、各周波数帯域のキャリア間隔を十分に広くすることができ、この結果、光信号の干渉を防止することができ、ビート信号などの雑音信号の発生を防止して良好な伝送特性を得ることができる。

【0054】また、本実施例では、2 波長のみの多重化について説明したが、3 波長以上を使用してさらなる多重化を図る場合であっても、波長の数に応じて本発明の導波路型光変調器を設けることにより容易に達成することができる。例えば、1 GHz の帯域幅が必要な波長多重伝送の場合、従来のように、入力光として周波数 10 GHz 程度のマイクロ波を用いた場合は、数チャンネルしか確保することができなかった。

【0055】これに対し、実施例 1 において述べたように、本発明の導波路型光変調器及び光変調方法を用い、さらに、入力光として THz 帯域の光信号を使用し、かつ光キャリア発生用の変調信号として、数百 GHz のミリ波を使用した場合は、この数百 GHz の周波数帯域を使用することができるため、数十チャンネルを確保することができる。

【0056】実施例 5

図 1 8 は、本発明の導波路型光変調器を波長多重方式のサブキャリア光変調器に使用した場合の他の実施例を示す概略図である。本実施例では、実施例 2 と同じ導波路型光変調器を 2 台並列状態において使用し、入力光として実施例 4 と同様に周波数 ω_{10} 及び ω_{20} のレーザ光を使用した。各導波路型光変調器内の光信号の伝送過程は、実施例 2 において説明した伝送過程と同じである。各導波路型光変調器内の伝送過程における入力光の変化も、実施例 2 あるいは実施例 3 の場合と同じである。

【0057】また、実施例 2 において説明したように、

出力光導波路505を追加のマッハツェンダー型光導波路513に分歧して、強度変調信号を印加するようにした場合でも、光周波数でスペクトル分解することにより、出力光導波路505においては実施例3の場合と同様に、図16に示されるように周波数 ω_c 及び ω_c' の上側波帯及び下側波帯に、間隔 ω_m のサイドバンドが形成されたスペクトルを呈する。

【0058】したがって、本実施例においても、図18における上側の導波路型光変調器をチャンネル1、下側の導波路型光変調器をチャンネル2とすると、これらを合成して最終的に得られる光信号は、図17に示すようなスペクトルを呈し、実施例4の場合と同様な効果を奏する。

【0059】本実施例についても、実施例4において記載したように、波長の数に応じて本発明の導波路型光変調器を設けることにより、3波長以上の多重化についても容易に達成することができる。さらに、強度変調信号の印加についても、実施例2と同様に変調信号印加部において外部から直接変調信号を印加することもできる。

【0060】以上実施例4及び5では、変調信号印加用電極8の後で参照光導入用光導波路6と出力光導波路5とを結合させ、変調信号印加後に参照光を導入することにより光キャリアの一方を消失させているが、実施例3と同様に、変調信号印加用電極8の前で参照光導入用光導波路6と出力光導波路5とを結合させ、変調信号印加前に参照光を導入して一方の光キャリアを消失させることもできる。

【0061】

【発明の効果】本発明は、入力光信号を、この入力光信号より低い周波数であって、かつ各々の周波数が異なる2つの光キャリアに変換して、光信号の変調を容易にするための光キャリア発生部と、前記光キャリアに変調信号を印加する変調信号印加部とを具える導波路型光変調器において、差分により前記光キャリアに一方を消失させるための参照光を前記変調信号印加部に導入するための光導波路を、光信号を伝送するための光導波路に対し別途設けるようにしたので、消失されずに残存している一方の光キャリアのみに変調信号を重ねることができる。

【0062】このため、各光キャリアの周波数帯域毎にサイドバンドが生じるという現象を回避することが可能となり、ミリ波帯信号のような高周波信号を伝送した場合でも、光キャリアの周波数間隔を十分に取ることができ、伝送路中の波長分散及びチャーピングなどが生じた場合であっても、ビート信号などの雑音信号を発生させることなく、良好な伝送特性を得ることができる。

【0063】また、本発明の導波路型光変調器及び光変調方法は、このようなTHz帯域の光を使用することができ、かつ光キャリア発生用の変調信号の周波数を適宜に選択することにより、数チャンネル程度しか確保する

ことができなかった従来の波長多重方式とは異なり、数十チャンネル以上を確保することができる。さらに、本発明の導波路型光変調器の光キャリア発生部をいわゆるSSB変調器構造とすることにより、特に、高周波数の光信号を効率良く変調することができる。

【0064】変調信号として、位相変調信号及び強度変調信号のどちらを印加した場合においても、正確な光信号の変調が可能であるため、変調信号としてFM変調信号及びAM変調信号の双方を使用することができる。この結果、本発明の導波路型光変調器は、本発明の導波路型光変調器を使用するユーザー側の自由度が増加するという利点をも併せ有している。また、使用する波長の数に応じて各波長毎に本発明の導波路型光変調器を設置することにより、波長多重方式においても上記効果を得ることができ、極めて広い範囲の光通信システムに応用できることが分かる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合の一実施例を示す概略図である。

【図2】実施例1及び2における入力光のスペクトルを表す図である。

【図3】実施例1及び2における変調信号が印加される前の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図4】実施例1及び2における変調信号が印加された後の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図5】実施例1及び2における参照光により光キャリアの一方が消失した後の光スペクトルを表す図である。

【図6】本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合の他の実施例を示す概略図である。

【図7】本発明の導波路型光変調器をサブキャリア光変調器に使用した場合のさらなる他の実施例を示す概略図である。

【図8】実施例3における入力光のスペクトルを表す図である。

【図9】実施例3における変調信号が印加される前の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図10】実施例3における参照光により光キャリアの一方が消失した後の光スペクトルを表す図である。

【図11】実施例3における変調信号が印加された後の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図12】本発明の導波路型光変調器を波長多重方式のサブキャリア光変調器に使用した場合の一実施例を示す概略図である。

【図13】実施例4及び5における入力光のスペクトルを表す図である。

【図14】実施例4及び5における変調信号が印加される前の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図15】実施例4及び5における変調信号が印加された後の光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図16】実施例4及び5における参照光により光キャ

リアの一方が消失した後の光スペクトルを表す図である。

【図17】実施例4及び5における波長多重方式の合成光スペクトルを表す図である。

【図18】本発明の導波路型光変調器を波長多重方式のサブキャリア光変調器に使用した場合の他の実施例を示す概略図である。

【図19】従来例における入力光のスペクトルを表す図である。

【図20】従来例における光キャリアのスペクトルを表す図である。

【図21】従来例における出力された光信号のスペクトルを表す図である。

【符号の説明】

101、201、301、401、501 入力光導波路

102、202、302、402、502 $\pi/2$ 位相シフト光導波路

103、203、303、403、503 π 位相シフト光導波路

104、204、304、404、504 光キャリア発生部出力光導波路

105、205、305、405、505 出力光導波路

106、206、306、406、506 参照光導入用光導波路

107、207、307、407、507 光キャリア発生用電極

108、208、308、408、508 変調信号印加用電極

109、209、309、409、509 $\pi/2$ 位相シフト用電極

110、210、310、410、510 π 位相シフト用電極

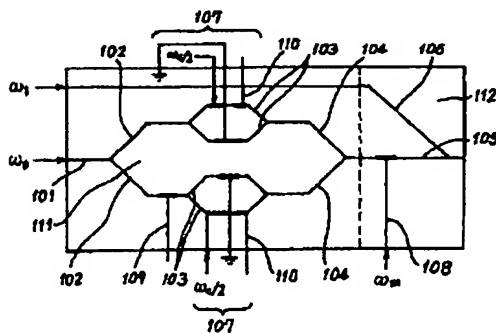
111、211、311、411、511 光キャリア発生部

112、212、312、412、512 変調信号印加部

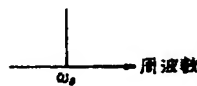
213、513 追加のマッハツエンダー型光導波路

20

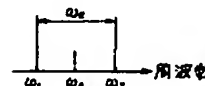
【図1】



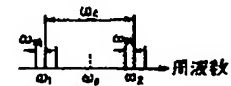
【図2】



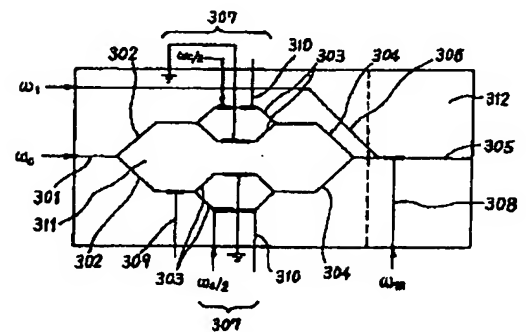
【図3】



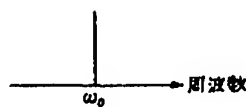
【図4】



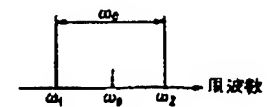
【図7】



【図8】



【図9】



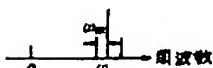
【図11】



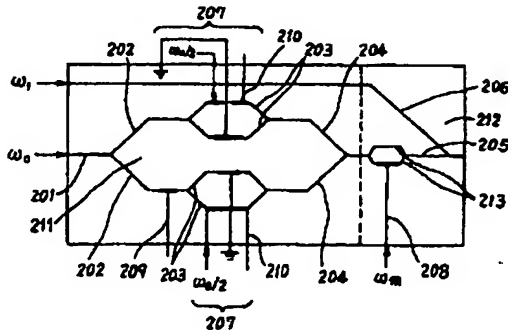
【図19】



【図5】



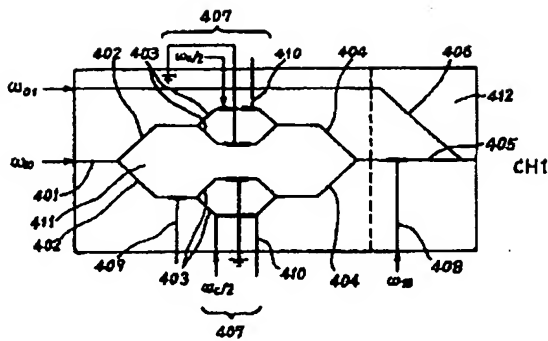
【図6】



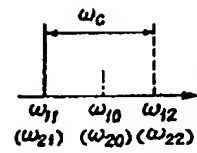
【図10】



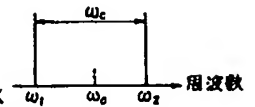
【図12】



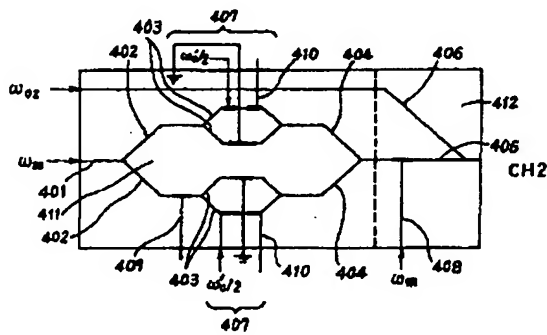
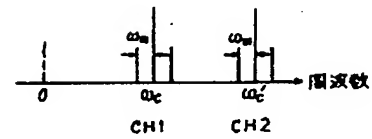
【図13】



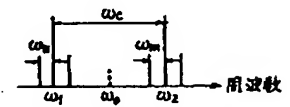
【図20】



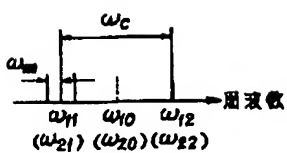
【図17】



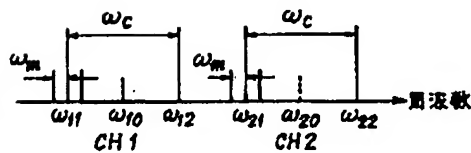
【図21】



【図14】



【図15】



【図16】

